

放射性よう素の洗浄排ガスへの移行率
評価に関する試験

1978年6月

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

放射性よう素の洗浄排ガスへの移行率評価に関する試験

鈴木 実*
高荷 智*
中筋 孝**

要 旨

ナトリウム冷却高速炉の一次系機器に付着した放射性ナトリウムの除去は、それらの機器の検査、補修および交換などに必要である。

一般に、ナトリウムの除去は、水蒸気およびアルコールによって行なわれている。

アルコールによって放射性ナトリウムを除去する場合、一次系機器の洗浄施設の安全評価を行なうためにナトリウム中の放射性よう素の気、液相への移行率を知っておくことが必要である。

本報告は、上記の要請にもとずいてよう素-131の気相および液相への移行率を測定した結果をまとめたものである。

放射性よう素を含むナトリウムの調製が困難であるので、よう素の移行率の測定は、放射性よう素を含むアルコールにナトリウムを溶解し、気相および液相中の放射能を測定して行なった。よう素-131の気相への移行率は、反応槽にバブリングガスを通したとき 10^{-6} 以下であったが、バブリングガスのほかにアルコール液面上にカバーガスを流したとき 10^{-5} を示した。

液相への移行率は、1.0であり本実験条件下ではよう素-131はほぼ完全に液相中にとどまることがわかった。

* 現ナトリウム分析室

** ナトリウム技術開発室

June, 1978

Experiment for Evaluation of Radioactive Iodine
Transfer Rate into the Exhaust Gas in the Sodium Removal Process

Minoru SUZUKI*, Satoru TAKAMI*
and Takashi NAKASUJI**

Abstract

Radioactive sodium removal is required to primary system components of sodium cooled fast reactor for inspection, repair or maintenance. A steam and an alcohol process are generally used to removal of this sodium from the components.

In order to evaluate safety of the facility in which radioactive sodium is removed from the components by using alcohol, it was required to determine transfer rates of radioactive Iodine into gas phase and liquid phase, when the sodium was dissolved with alcohol.

Based upon above requirement, a study was conducted. This report has been described experimental procedure and measuring results of Iodine transfer rates. Measurement of the transfer rates have been done by counting iodine activity distributed between the gas phase and the liquid alcohol phase, after dissolving sodium into the alcohol containing radio Iodine, since preparation of sodium contained radio Iodine in homogeneous is difficult.

Transfer rate of Iodine-131 into the gas phase was below 10^{-6} , when bubbling gas was introduced into alcohol in a reaction vessel. Transfer rate, however, into the gas phase indicated 10^{-5} level when cover gas flowing was introduced into a upper space in the reaction vessel with combination of the bubbling gas flow. Transfer rate of Iodine-131 into the liquid phase was 1.0. So it was found that Iodine-131 is near completely retained in the liquid phase under this experimental conditions.

* Sodium Chemistry Section, Sodium Engineering Division, O-arai Engineering Center, PNC.

** Sodium Technology Section, do.

目 次

1. まえがき	1
2. 「もんじゅ」燃料出入機, 燃料交換機洗浄設備の概要および, 実験条件の設定	3
3. 実験方法, 実験装置および器具, 試薬	5
3.1 実験方法	5
3.2 実験装置	7
3.3 試薬	8
4. 実験結果および考察	9
4.1 コールド実験結果	9
4.2 ホット実験結果	10
5. まとめ	13
6. あとがき	14
7. 参考文献	15
付録	
1. 試験目的	16
2. 試験項目	16
3. 試験方法	16
4. 試験結果	17
5. まとめ	18

List of Figures

Fig. 1 Washing Vessels for JOYO and MONJU Primary System Components 19

Fig. 2 Iodine Transfer Measuring Apparatus 20

Fig. 3 Block Diagram of Gamma-ray Measuring System 21

Fig. 4 Dissolution Time and Max. Temp. of Alcohol in Cold Run A 22

Fig. 5 Dissolution Time and Temp. Ascension of Alcohol (Cold Run B) 23

Fig. 6 Dissolution Time and Max. Temp. of Alcohol in Cold Run C. 24

Fig. 7 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Final Vol. of Alcohol in Cold Run D 25

Fig. 8 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Final Vol. of Alcohol in Hot Run E 26

Fig. 9 Max. Temp. of Alcohol and Final Vol. of Alcohol in Hot Run F 27

Fig. 10 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Final Vol. of Alcohol in Hot Run G 28

Fig. 11 Gamma-ray Spectrum of I-131 in Alcohol Solution in Hot Run G-3 29

Fig. 12 Gamma-ray Spectrum of I-131 found in Trap Solution (Hot Run G-3) 30

Fig. 13 Gamma Spectrum of Trap Solution (Hot Run E-2) 31

Fig. 14 Calibration Curve of Iodine by CCl₄ Extraction Method .. 32

Fig. 15 Effect of Alcohol on Extraction of Iodine 33

List of Tables

Table 1 Design of Sodium Removal System for JOYO and MONJU primary System Components 34

Table 2 System Parameter and Experimental Parameter 35

Table 3 Design of Experiments 36

Table 4 Composition of Iodine-131 Standard Solution 37

Table 5 Composition of Denatured Alcohol 37

Table 6 Determination of Iodine Transfer Rate to Lig. phase and Gas phase in the Cold Run 38

Table 7 Determination of Iodine-131 Transfer Rate to Liq. Phase and Gas Phase in the Hot Run 39

Table 8 Determination of Iodine Retention Rate in Liq. Phase in the use of Different Chemical Form of Iodine 40

1. ま え が き

ナトリウム冷却高速増殖炉内から燃料の出し入れ操作を行なうと、燃料出し入れ機ドリッパー、燃料交換機などに、放射能を持った一次系ナトリウムが付着する。これらの機器はメンテナンス設備で付着ナトリウムをアルコールなどで洗浄したのち、再び使用される。

原型炉「もんじゅ」では、これらの機器の洗浄設備の設計を実験炉「常陽」の設備を参考として検討中であるが、本洗浄設備の安全評価を行なうに当たって、当該機器をアルコールで洗浄する場合について、ナトリウムに含まれるよう素-131が気相または液相中にどれほど移行するのかわかっておく必要がある。

一次系の機器に付着したナトリウムを水蒸気洗浄または燃焼処理したときのよう素-131およびセジウム-137の挙動については実験例が報告されているが¹⁾、ナトリウムをアルコール洗浄したときの実験例は見あたらないと言われている。

本報告は、先に述べた必要性にもとずき、特に原型炉「もんじゅ」を対象にしてナトリウムをアルコールに溶解したときの放射性よう素の気相および液相への移行、挙動について試験した結果をまとめたものである。

この試験は、課題の項目を含めて次の項目についてのデータを提供することを目標に行なった。

- (1) よう素-131を含むナトリウムをアルコールに溶解したとき、よう素-131は気相または液相にどれ位の割合で分配するか。
- (2) よう素-131の移行率は、アルコール中にアルゴンガスを吹き込んだとき、どのように変るか、ただし飛沫同伴によるものは含めないものとする。
- (3) (2)の条件に加えて、アルコール液面上にカーバゲスを流したとき、よう素-131の移行率はどうか。
- (4) アルコール中に水が含まれる場合のよう素移行率の変化。
- (5) なお、ナトリウムの溶解時間、アルコールの蒸発減量、アルコールの最大到達温度についても記録する。これらの項目についての実験は、「もんじゅ」製作準備設計中の機器洗浄稼働をできるだけ模擬するように配慮して計画した。

しかしながら、よう素-131を含むナトリウムの入手は事実上不可能であった。

また、よう素-131とナトリウムとを混合して試料を合成するのは、実験上種々の問題があると思われる。すなわち、よう素-131とナトリウムを高温で溶融、混合するとき、よう素-131は揮発するかどうか、溶融生成物中により素-131が均一に混合されるか、融合容器材質中により素-131が浸入拡散しないか、などの問題をあらかじめ検討しておく

なければならぬ。これらの検封には放射能の分析、計測を要し、長期間を必要とすること
 よう素-131の半減期は約8日と短かく試験期間中に減衰してしまふこと、たとえ強引にナ
 トリウムとの混合物を作製しても、よう素-131の試料中分布が均一でなければ、はじめに
 加えるよう素-131値が不確定になるので、実験の目的が達成されなくなると考えられた。
 本試験は、2~3ヶ月の短期間に終了することを要請されたので、上記の検封は試験設
 備および期間の関係から事実上不可能と判断された。

そこでこの問題は次のように考えた。

ナトリウムとアルコールとの反応は、ナトリウムがアルコールと接触する表面で生ずる。
 このため、ナトリウム中に存在するよう素-131とアルコールとの反応は、ナトリウム-ア
 ルコール接触表面で生ずると考えられる。市販のよう素-131水溶液は、アルコールに易溶
 であり、よう素-131を均一に含むアルコールの調製が容易にできる。これにナトリウムを
 投入すると、比重の關係でナトリウムはアルコール中に沈降しながら溶解する。ここでナト
 リウム-アルコール-よう素-131の反応はナトリウム表面のみで生ずることになり、した
 がって含よう素-131ナトリウムのアルコール溶解時の状態を完全にせよ上記の操
 作法である程度模擬しうるものと考えた。実験は、あらかじめ放射能を含まないアルコール実
 験を行なって操作法に習熟すると共によう素挙動の概要を把握したのち、ホット実験を実施
 する順序で行なった。

これらの実験を実施するに先立って予備試験を行なった。この試験内容、実験結果などは
 付録にとりまとめた。

2. 「もんじゅ」燃料出入機、燃料交換機洗浄設備の 概要および、実験条件の設定

「もんじゅ」の一次系機器の洗浄設備は、高速実験炉「常陽」一次系機器洗浄設備を参考に設
 計が進められている。³⁾「もんじゅ」用機器の洗浄槽の形状をFig. 1に、洗浄条件をTable 1に示
 した。

一次系機器は、20分までの水を含む変性アルコールで洗浄される。
 洗浄中、アルコールの発火をおさえるためアルコール液面上には、カバークラスが流される。ま
 た、洗浄液を攪拌するため洗浄槽底部から緊急ガスが吹き込まれる。機器洗浄時のアルコール温
 度は、約60°Cまでの温度範囲で行なわれる予定である。

これらの条件を参考にピーカー実験での試験条件を選定する。

まず、ピーカー実験としてアルコール量は、0.5ℓに設定する。

設計条件におけるカバークラス流量、バブリングガス流量およびナトリウム溶解量をアルコー
 ル0.5ℓ当りに換算するとTable 2の通りになる。

アルコール温度、およびアルコール中の含水率は比例計算するのは不適當であるのでそのまま
 採用すると、実験すべき条件はTable 2の右の列のようになる。

Table 2の選定実験条件をもとに実験計画をTable 3のように定めた。

実験は、コード実験およびホット実験に分け、コード実験で装置および操作法に習熟する
 と共によう素の挙動の把握を要する。ホット実験ではよう素-131を用いてナトリウム溶解時
 におけるよう素-131の気相および液相への移行率を測定する。
 次に各試験内容の概要を説明する。

(1) Run A (Run A~Run D : コード実験)

アルコールに溶解するナトリウム量を変える。このときのナトリウムの溶解時間、溶解時最
 高液温およびよう素の気液移行率を求める。

(2) Run B

溶解ナトリウム量を一定としアルコール温度を変える。このときのナトリウムの溶解時間、
 アルコール温度上昇およびよう素の気液移行率を求める。

(3) Run C

ナトリウム量、アルコール初温度を一定として溶解時のバブリングガス量を変える。各場合
 のアルコールの最高温度、ナトリウム溶解時間およびよう素の気液移行率を求める。

(4) Run D

溶解ナトリウム量、アルコール初温度、バブリングガスをRun Cと同様にし、カバーク
 ラスを流す。この時の効果をRun Cと同様に測定する。

(6) Run E (Run E ~ Run G : ホット実験)

バブリングカカス流量を変えてその効果を測定する。
ナトリウム塩、アルコロール温度、バブリングガス送気時間は一定とする。

(6) Run F

Run E と同様の実験条件下でカバ-ガスを流し、その効果を測定する。

(7) Run G

アルコロール中の含水量のみを変えてその効果を測定する。

3. 実験方法、実験装置および器具、試薬

3.1 実験方法

3.1.1 実験方法概要

Fig. 2 に示す反応槽にアルコロールをとり、これによる素標準溶液または、よう素—131 溶液の一定量を加える。次に液温、カバ-ガス流量およびバブリングガス量を、あらかじめ設定条件にしたがって設定しナトリウムを溶解する。溶解後、溶液中に残留するよう素量を測定する。一方気体として発生しているかもしないよう素はアルカリ性溶液に捕集して、その量を測定する。各々の測定値を、はじめに存在したよう素量で除して液相および気相へのよう素移行率を求める。

3.1.2 コールド実験手順

- (1) 実験装置の反応槽に変性アルコロール 0.5 ml を入れる。
- (2) これによる素標準溶液を正確に 10 ml (よう素として 100 mg 相当) を加え、液量を正確に読みとる。
- (3) よくかき混ぜたのち、装置を Fig. 2 のようにセットし、吸収槽に水酸化ナトリウム溶液 (0.01 N) 50 ml を入れる。
- (4) アルコロールの温度を所定の温度に設定したのち、カバ-ガス流量または、バブリングガス流量を Table 3 に示した設定条件に定める。
- (5) 直ちに金属ナトリウムの所定量を反応槽に投入して溶解し、反応時の最高液温を測定する。
- (6) 反応終了後、反応槽を装置からとりはずし、蓋をして常温まで冷却したのち、液量を読みとる。
- (7) 反応槽からアルコロール溶液を正確に 20 ml 採取し、ビーカーに入れる。これに水約 20 ml を加え湯浴上で蒸発乾固する。
- (8) 吸収槽内の溶液は全てビーカー (容量 500 ml) に移し入れ湯浴上で蒸発乾固する。
- (9) 手順(7)および(8)で蒸発乾固したそれぞれを水で溶解したのち、分液漏斗に移し入れ、水で液量を 80 ml とする。
- (10) これに硫酸 (9N) 5 ml を加え、かき混ぜて酸性としたのち市販酸ナトリウム溶液 2 ml を加え、よう素を酸化する。次に四塩化炭素約 15 ml を加えて振りまぜ、よう素を抽出し有機層は、メスフラスコ (50 ml) に移し入れる。
- (11) 四塩化炭素による抽出を更に 2 回繰り返し、有機層は先のメスフラスコに合わせ、四塩化炭素で正しく 50 ml にする。
- (12) よくかき混ぜたのち、その溶液の一部を脱脂綿でろ過して水分を除き、ロ液の一部を分光

光電計の吸収セル(20 mm)に移し入れ、長さ 535 mm のよう素¹³¹でのよう素¹³¹を測定する。

④ あらかじめ作成してある検量線から、それぞれの溶液に含まれるよう素量を求める。

なお、反応槽の溶液中に残留してゐるよう素量は次式により計算して求める。

$$\text{液中残留よう素量 (mg)} = V (\text{ml}) \times 1/20 \text{ ml} \times m (\text{mg})$$

ここで、

$$V : \text{手順(6)で読みとったアルコール溶液の液量 (ml)}$$

m : 手順(3)で検出されたよう素の量 (mg)

⑤ よう素の気相および液相への移行率は次式により求める。

$$\text{気相への移行率} = \frac{\text{吸収槽中のよう素量 (mg)}}{\text{手順(2)で加えたよう素量 (mg)}}$$

$$\text{液相への移行率} = \frac{\text{液中残留よう素量 (mg)}}{\text{手順(2)で加えたよう素量 (mg)}}$$

3.1.3 マット実験手順

- (1) 実験装置の反応槽に変換アルコール約 0.52 ml を入れる。これによう素¹³¹標準溶液 100 ~ 200 μCi (よう素¹³¹として約 1 ~ 2 μCi) を加えよくかきまぜる。
- (2) この溶液から 20 ml を正確に採取し放射能計測用バイアルに移し入れ、 γ 線計測器にかけ 4 ~ 10 sec 計測する。計測値からよう素¹³¹の放射能を求める。(この値を A とする)
- (3) 反応槽中の残り溶液の液量を正確に読みとったのち、(この値を V とする)、反応槽を実験装置にセットする。そして吸収槽には水酸化ナトリウム溶液 (0.01 規定) 50 ml を入れる。
- (4) 反応槽内溶液の温度が規定の値になったら、カバーガス流路またはバブリングガス流路を所定の値に設定し、金属ナトリウムの所定量をすばやく反応槽に投入する。
- (5) 試験終了後、反応槽をとりはずし蓋をして放置し室温になるまで冷却し、そのときの液量を正確に読みとる。
- (6) この溶液から正確に 20 ml を分取し γ 線計測用バイアルに移し入れ、 γ 線計測器にかけてよう素¹³¹の放射能を求めこの値を B とする。
- (7) 吸収槽内の溶液は、全部ビーカーに移し入れ湯浴上で蒸発乾固したのち、残渣は少量の水で溶解したのち水で完全に γ 線計測用バイアルに移し入れ液量を 20 ml とする。これを γ 線計測器にかけてよう素¹³¹の放射能を求める。この値を C とする。
- (8) 手順(6)で求めたよう素¹³¹の放射能 B を用い次式により反応槽内に残留したよう素¹³¹の放射能を求める

$$\text{反応槽内残留よう素量 } (\mu\text{Ci}) = V (\text{ml}) \times 1/20 (\text{ml}) \times B (\mu\text{Ci})$$

よう素¹³¹の気相および液相への移行率を次式により求める。

$$\text{気相への移行率} = \frac{\text{吸収槽中のよう素 } - 131 \text{ の量 } (\mu\text{Ci})}{V (\text{ml}) \text{ 中のよう素 } - 131 \text{ の量 } (\mu\text{Ci})}$$

$$\text{液相への移行率} = \frac{\text{反応槽中に残留したよう素 } - 131 \text{ の量 } (\mu\text{Ci})}{V (\text{ml}) \text{ 中のよう素 } - 131 \text{ の量 } (\mu\text{Ci})}$$

ここで、

$$V \text{ 中のよう素量 } (\mu\text{Ci}) = V (\text{ml}) \times 1/20 (\text{ml}) \times A (\mu\text{Ci})$$

3.2 実験装置

(1) よう素移行率測定実験装置 (Fig. 2)

本装置は、反応槽、恒温槽、ガス供給系およびガス吸収系から構成される。反応槽は、1 ϕ メスリンダーを利用して液量の読みとりを可能としてある。上部はゴム栓で蓋をされ、これに温度計およびガス供給ノズル(硝子製)が接続される。ガス出口はゴム栓上に 490 mm の高さに立ち上がり、バブリングによって生成した飛沫が吸収槽へ同降されるのを防止している。この出口管は、丁度ゴム栓下面の所で開口し反応槽内ガスが容易に流出しうるようにしてある。ガス出口ラインの末端近くに水冷コンデンサーを設け揮発性よう素を冷却凝縮しうるようにした。また凝縮しえないものについてはアルカリ溶液で捕集しうるよう吸収槽を設けてある。吸収槽は 200 ml 容量メスリンダー(36 ϕ × 260 mm)とし、これに水酸化ナトリウム溶液を入れた。

恒温槽は、ヤマト科学 KK 製、CTE-120 型で液温は $\pm 0.08^\circ\text{C}$ 以内に保持することがきる。

(2) 放射能計測装置

本装置は、キヤンベラ社製 γ 線計測装置 8100 Quanta システムおよびハーシオン社製 Ge (Li) 検出器 システムから成る。本システムの構成を Fig. 3 に示す。

本システムの主要性能を次に示す。

(a) ゲルマニウム(リチウム)検出器 (HARSHAW 社製)

計数効率	21%
半値分解能	2.1 KeV
ピーク対コンプトン比	44
適正バイアス	+4000 V

(b) 検出器用遮蔽体 (キソ工業 KK 製)

寸法	359 ϕ × 527 hmm
遮蔽材	SUS (外張り) 3 mm、鉛 70 mm、カドミウム 1 mm、銅 0.5 mm
	アクリル板 (内張り) 5 mm

遮蔽性能

1/5.3

(c) 感熱分析装置およびデータ処理装置

(CANBERRA 8100 QUANTA SYSTEM)

被高分析器

4096 ch

データ処理装置

DEC PDP 11/05 SC (CPU)

CANBERRA 2020

(CASSETTE SYSTEM)

(3) 分光光度計

日立 139 型, 20 mm 吸収セル

(4) 振とう機

KKイワキ製, KM式万能シェーカー

(5) 湯浴

ヤマト科学KK製, BS-44型

3.3 試薬

(1) よう薬標準溶液

純より化ナトリウムの11.812gを秤量し、変性アルコールに溶解する。これを1ℓのメスフラスコに移し入れ変性アルコールで正しく標線までうすめる。この溶液1mℓはよう薬10.0mgを含有する。

(2) よう薬-131標準溶液

日本アイソトープ協会より購入、使用した。その組成をTable 4に示した。

(3) 変性アルコール

日本化成品KK製, エキネンF-1号を用いた。その組成をTable 5に示した。

(4) よう薬吸収液

0.1N水酸化ナトリウム溶液5mℓを使用のつど水で50mℓにうすめた。

(5) その他 特級試薬を用いた。

4. 実験結果および考察

4.1 コールド実験結果

結果をTable 6に示した。以下各Runごとにその結果を述べる。

(1) Run A

溶解ナトリウム量を変えてよう薬の移行率をしらべた。このときのナトリウムの溶解時間およびアルコールの最高温度などをFig. 4に示した。ナトリウム量が増加にしたがって溶解時間は短かくなった。これは、ナトリウム量が増加するのにしたがってアルコールの温度が上昇していることから、温度上昇にもとづく反応速度の増加によるものと考えられる。

吸収槽中のよう薬量すなわち、気相へ移行したよう薬量は、いずれも測定に使用した分析方法の定値下限以下(0.18 mg以下)であった。

液相中のよう薬は、ナトリウム溶解量が増加するのにしたがって若干増加する傾向にあるがこれは多分アルコールの液量の読みとり誤差によるものと思われる。

液相への移行率は、ほぼ1.0を示し、よう薬はほぼ完全に液相中に止まることを示している。

(2) Run B

ナトリウム量は、一定にしてアルコール温度を変えて溶解した。

ナトリウムの溶解時間およびナトリウムの溶解によるアルコール温度の増加などをFig. 5に示した。

ナトリウム溶解時間は、アルコール温度が高くなるにしたがって短縮される。30℃を越えると急速に短縮されるが50～60℃ではあまり大きな変化は認められない。これは投入するナトリウムの形状にも関係すると考えられるが、ナトリウムの形状が一定ならば(本実験では直径約8mmの円柱状の一冠形状のものを使用)この現象は次のように考えられる。

ナトリウムとアルコールが接触する界面で溶解反応がおこり、この界面に水蒸気が発生する。アルコール温度が高くなると、このためにナトリウム表面は水蒸気の気泡で覆われるようになり、アルコール温度がある程度高くなるとこの水蒸気膜の生成によってアルコールとナトリウムの接触が妨げられ反応が律速される。

このため見かけの反応はあまり変化しなくなると考える。反応によるアルコールの温度上昇は、アルコールの初期の温度が50～60℃の範囲ではあまり大きな変化はない。

これはアルコール液面からアルコールが蒸発することによって蒸熱がうばわれ液温上昇が抑制されるものと考えられる。この温度上昇の抑制も先の溶解反応を律速している一つの要因とされていると考えられる。

よう薬の移行率は、基本的にRun Aの結果と同様で、アルコール温度があがってもよう薬は

示合に液相中に止まることを示している。

(3) Run C

ナトリウム車およびアルコール温度を一定にしてパブリングガス量を変えた場合である。(Table 6およびFig. 6参照)

ナトリウム溶解時間は、ほとんど変化しなかった。溶解時のアルコール最高温度は、パブリングガス量が増加すると逆に減少する傾向を示した。これはパブリングガスの導入によって液相が冷却されたこと、アルコールの蒸発潜熱によって温度が低下したためと考えられる。Table 6の結果からアルコールの減少量は約70 m³におよぶことから蒸発潜熱による効果の方がより支配的であろうと考えられる。

よう素の移行率は、Run AおよびRun Bの結果と変りなかった。

(4) Run D

Run Cの条件に加えて、カバ-ガスを一定量通じながらナトリウムを溶解した場合である。(Table 6およびFig. 7参照)

実験結果は、Run Cの場合とほとんど同じであるが、カバ-ガスを流したことによってアルコールの液量はRun Cの場合より若干減少していることがわかる。

4.2 ホット実験結果

ホット実験のデータ-ター-をTable 7に示した。以下各Runごとの結果を述べる。

(1) Run E

コールド実験のRun Cに相当する実験で、ナトリウム量およびアルコール温度を一定としておき、パブリングガス量を変えた場合である。ただし、パブリング量は0~2 l/分の範囲に細かくとった。(Table 7およびFig. 8参照)

ナトリウムの溶解時間、アルコールの最高温度および液量の変化などは、Run Cの場合とほとんど変りなかった。

よう素-131の気相への移行率は10⁻⁶以下であり、パブリングガス流量が2 l/分までは変化せず、よう素-131は完全に液相中に留まることわかった。

はじめに加えたよう素-131の放射能が実験番号が多くなるにしたがって減少しているのは、よう素-131の半減期(8H)にもとずく減衰のためである。

よう素-131の気相移行率が実験番号とともに若干変化しているのは、はじめに加えたよう素-131量が増えたとおり、この直でトラップ中に検出されたよう素の放射能(ほぼ一定値)を除いているためで、液相への移行率が実質的に変化していることを示すものではない。

(2) Run F

コールド実験のRun Dに相当する実験で、Run Eの条件にカバ-ガスを加えた場合である。(Table 7およびFig. 9参照)

アルコール車温度および最高温度もRun Dの場合とほぼ同様である。ナトリウム溶解時間は測定してないが大巾な変化はないものと考ええる。

気相へ移行したよう素-131量は、Run Eの場合に比較して高くなっていくことがわかる。これは、ガスパブリングによってアルコール液面上に放射能による微細なミストが形成され、これがカバ-ガス流と共に吸収槽へ運ばれたためと考えられる。液相への移行率は1.0であった。

(3) Run G

Run Fの場合とほぼ同一条件であるが、パブリングガス量は2 l/分と一定にしてアルコール中の含水率を変えた場合である。なお、このRunでは吸収槽へのミストの移動の有無を示すため、ガスの通気をナトリウム溶解終了と同時に停止するケースをRun G-2に設定した。

この結果をTable 7およびFig. 10に示した。

アルコールの最高温度は含水率が5%増加することにより2.5℃ずつ上昇する。また反応も含水率の増加に伴って激しくなり、含水率10%以上ではナトリウムが液面上に浮き上がった状態でも激しく反応、溶解する。このため溶解時間は急速に短くなる。含水率20%の場合は、ナトリウム投入に際して危険がともなうので実験を中止した。

液量の減少はRun Fのパブリングガス2 l/分の場合とほとんど変りない。しかし、ナトリウム溶解終了と同時にガスの逆気を止めた場合(Run G-2)の液量減少は約1%と比較的小さい。このことから液量の減少は、ガス導入による揮発がかなり大きいと言える。

ガス導入時間が長いと吸収槽から液量のような素-131が検出されるが、ガス導入時間が短いとよう素-131は検出下限以下を示す。

これは、ガスパブリングによって生成した微細なアルコールミストが吸収槽まで運ばれたと言う先の推定を裏付けるものである。

参考までに、Run G-3の場合について、はじめの溶液中のよう素-131および吸収槽中のよう素-131のラ線スペクトラムをFig. 11およびFig. 12に示した。

また、Run E-2の吸収液のラ線スペクトラム(よう素-131が検出されなかった)をFig. 13に示した。

Run Gの場合のようにナトリウムの溶解反応が激しくかつ、それがアルコール液面付近で行なわれるような条件下でも、よう素-131の気相への移行率は、10⁻⁶オーダーであり、はじめのよう素-131は、その99.999%が液相中に留まることわかれる。よう素-131の気相への移行率は、カバ-ガスの通気時間を少なくするか、止めることにより10⁻⁶以下とすることができ。

これらから、カバ-ガスの導入は、アルコールの蒸発損失を大きくすること、それにより本設設備においては、ガス配管にアルコールが凝縮結露すること、バックアップフィルターを濡れさせること、よう素-131を含むミストを運送する役目を果たし、見かけ上気相への移行

率を大きくすることなどの点について考慮すべきであろう。

ホット実験において液相へのよう薬移行率が0.99を示す結果があるが、これは残りの0.01が気相へ移行することを示すものではなく、液相中のよう薬量を求めるときの基準となるアルコール液量の読みとり誤差にもとづくものと考えられ、気相移行率から推定してもよう薬は完全に液相中に残留すると言えてよい。

ナトリウム中による薬が単体で存在しても、このものはアルコールに易溶であり、ナトリウム溶解時に発生する水素により還元されて安定なよう薬イオンになり液相中に留まると考えられる。

5. ま と め

放射性よう薬を含むアルコールにナトリウムを溶解し、気相および液相中へ移行した放射能を測定して放射性よう薬の各相への移行率を求めた。

本実験条件のもとで次のことがわかった。

- (1) ナトリウムをアルコールで溶解するさいのアルコール中のよう薬—131の気相への移行率は、カバーガス送入がなくバブリングガス流量が2L/分までの条件下で 10^{-1} 以下であった。また、液相への移行率は1.0で、よう薬—131は、ほぼ完全に液相にとどまることが示される。
- (2) ナトリウムを溶解するさい、反応槽にバブリングガス、カバーガスを流した場合、よう薬—131の気相への移行率は、 10^{-5} であった。これは、カバーガスの通気によってバブリングの際に発生した溶液の微細なミスミストがガス気流に乗って移動したためと考えられる。
- (3) ナトリウムの溶解に含水アルコールを使用し、溶解反応を激しく行なってもよう薬—131の気相への移行率は 10^{-5} のオーダーであり、液相への移行率も1.0で変化しなかった。
- (4) よう薬—131の気相への見かけの移行率を高める要因は、カバーガスの反応槽への送入によるものであることがわかった。
- (5) ナトリウムの溶解時間は、アルコールの温度をあげることおよびアルコール中の含水量をあげることにより短縮できる。
バブリングガスの送入は、本実験ではナトリウムの溶解時間を短縮する効果は認められなかった。
- (6) 反応槽へのカバーガス送入は、見かけ上、よう薬—131の気相への移行率を高める。またバブリングガス送入量ともあいまいってアルコールの蒸発損失を高める。

7. 参 考 文 献

- (1) 三菱原子力工業KK "汚染ナトリウム"の廃棄処理技術用装置開発試験報告,"SJ 206--76--04 (1976年3月)
- (2) 日立製作所:"密閉容器内におけるナトリウム燃焼実験2)"SJ 202--77--10(1977年8月)
- (3) 原型炉準備室 前田氏 私信
- (4) 日本化学会編:"化学便覧・基礎編一1"PP--354, 丸善KK 1966年

6. あ と が き

- (1) 本実験は、種々の制約からよう素-131を含むナトリウムを試料として用いることができなかつた。このためよう素-131をアルコールに溶解しておき、これにナトリウムを投入することで実験を行なった。また、一次系ナトリウム中によるよう素-131がどんな化学形で存在するのかが明確でない。本実験では取扱いの容易なよう化ナトリウムを使用した。これらの実験条件は、実際の溶解条件と比較すると様相が異なるものと思われる。したがって、本実験結果は、上記実験条件を加味して評価されるべきである。
- (2) 実際の洗浄槽には複雑な形状の被洗浄体が浸漬されるが、本実験の場合は、被洗浄体を挿入しない状態でナトリウムが、それも一箇の塊として投入された。このため本実験条件は異機の条件を全く模擬しているとは言えないであろう。したがって(1)に述べたと同様に本実験結果はこれらの点を含んで評価されるべきであろう。
- (3) 今後の試験においては、上記(1)、(2)の点を考慮して実験を行なうべきであろう。
- (4) しかしながら、本実験ではよう素-131の気液移行について基礎的なデータの一つが取得されたものと考えらる。

付 録

本文で述べた試験を実施するのに先立って若干の予備試験を行なった。ここではそれらについて述べる。

1. 試験目的

- (1) コールド実験で使用するよう薬の分析方法を確立すること。
- (2) アルコールに溶解するよう薬の化学形によりナトリウム溶解時の挙動が変化するかを確かめること。(コールド実験)

2. 試験項目

- (1) 四塩化炭素抽出法によるよう薬の検量線の作成。
- (2) よう薬の抽出測定におよぼす共存アルコールの影響。
- (3) よう化ナトリウム含有アルコールにナトリウムを溶解したときのアルコール中のよう薬残留率の測定。
- (4) 単体よう薬含有アルコールにナトリウムを溶解したときのアルコール中のよう薬残留率の測定。

3. 試験方法

- (1) 四塩化炭素抽出法によるよう薬の検量線の作成。
よう薬標準水溶液からよう薬として0~7mgを段階的にとり分液漏斗(容重200mℓ)に移し入れ、水で液量を約80mℓとする。
以後、本文3.1.2の手順(1)~(2)にしたがって操作し、遊離よう薬の呈色(赤色)にもとづく吸光度とよう薬量との関係線を作成する。
- (2) よう薬の抽出におよぼす共存アルコールの影響。
上記(1)の定量法において被抽出水溶液中に共存を許容しうるアルコール量を求める。
よう薬イオンを含む水溶液中のアルコール濃度(V₂O)を0~50%に変化させ、上記(1)の操作を行なってアルコール濃度と吸光度の関係をしらべる。なおアルコールは、エチルアルコールおよび変性アルコールを使用する。
- (3) よう薬の化学形によるナトリウム溶解時の挙動
本文、Fig. 2の反応槽に変性アルコール約500mℓをとり、これにより化ナトリウムまたは単体よう薬をよう薬として約50mg加えて溶解する。この溶液から8.0mℓを採取し四塩化炭素抽出法でよう薬含有量を定める。残りの溶液の液量を読みとったのち反応槽内に金属ナトリウム1gを投入して溶解する。放冷後液量を読みとり、この溶液8.0mℓを採取して四塩化炭素抽出法でよう薬含有量を求める。

ナトリウム投入前後のよう薬含有量を比較してよう薬のアルコール中残留率を求める。

4. 試験結果

(1) よう薬の検量線

試験結果をFig. 14に示した。よう薬は7.0mgまでの範囲で吸光度との関係は良好な直線関係を示すことがわかる。

測定下限は、空白値との関係から吸光度として0.023すなわちよう薬量として0.18mgとされた。

(2) よう薬の抽出におよぼす共存アルコールの影響

この結果をFig. 15に示す。被抽出水溶液中のアルコール濃度が増加するとそれにしたがってよう薬抽出液の吸光度が低下することがわかる。エチルアルコールの場合は、共存量が10%までは吸光度に変化がないので被抽出水溶液中に許容しうるアルコール量は、約8mℓであることがわかる。

一方、変性アルコールが共存する場合は、エチルアルコールの場合と異なりよう薬の吸光度は急速に低下し、一定吸光度を示す濃度範囲がない。

したがって、ナトリウムの溶解に変性アルコールを使用したときは、よう薬の抽出測定を行う前に妨害となる変性アルコールを除去しておく必要がある。

変性アルコールは、湯浴上で加熱して蒸発除去することにしたが、よう薬を含む変性アルコールをビーカーにとりそのまま加熱するとアルコールが沸とう状態になり飛沫によってよう薬の一部が損失することがわかった。これを防止するため変性アルコール試料は、湯浴上で加熱を行なう前に試料と同量の水を加えることにした。

この方法により、よう薬の損失の有無を確かめるため、よう薬含有変性アルコール溶液の一定量をとり、繰り返し蒸発試験を行なった。その結果、よう薬は、アルコールの蒸発凝固操作において実験誤差の範囲内で全く損失のないことが確かめられた。

この結果から、本文のコード実験でアルコール中のよう薬を測定するときは、試料溶液と同量の水を加えたのち蒸発凝固して変性アルコールを除去し、残渣を水で溶解して抽出操作を行なうようにした。

(3) よう薬の化学形によるナトリウム溶解時の挙動

実験結果をTable 8に示した。アルコール中に溶解したよう薬の化学形が、よう薬陰イオンまたは単体であってもナトリウムの溶解によって、よう薬の揮発損失はほとんど認められなかった。

単体よう薬をアルコールに溶解すると褐色の溶液がえられた。これにナトリウムを投入して溶解すると単体よう薬にもとづく呈色が数分後に消失して無色となった。これは恐らく、ナトリウムの溶解によって生成した水素により単体よう薬が還元されよう薬イオンを生じたためと考えられる。

よう化ナトリウムをアルコロールに溶解した場合は、ナトリウムを投入しても、よう素イオンに
 を対しての変化は生じないものと考えられる。

それらから、試験に用いるよう素の化学形態はどちらでもよいことがわかる。
 本文の試験には取り扱っていないよう化ナトリウムを用いることとした。

5. まとめ

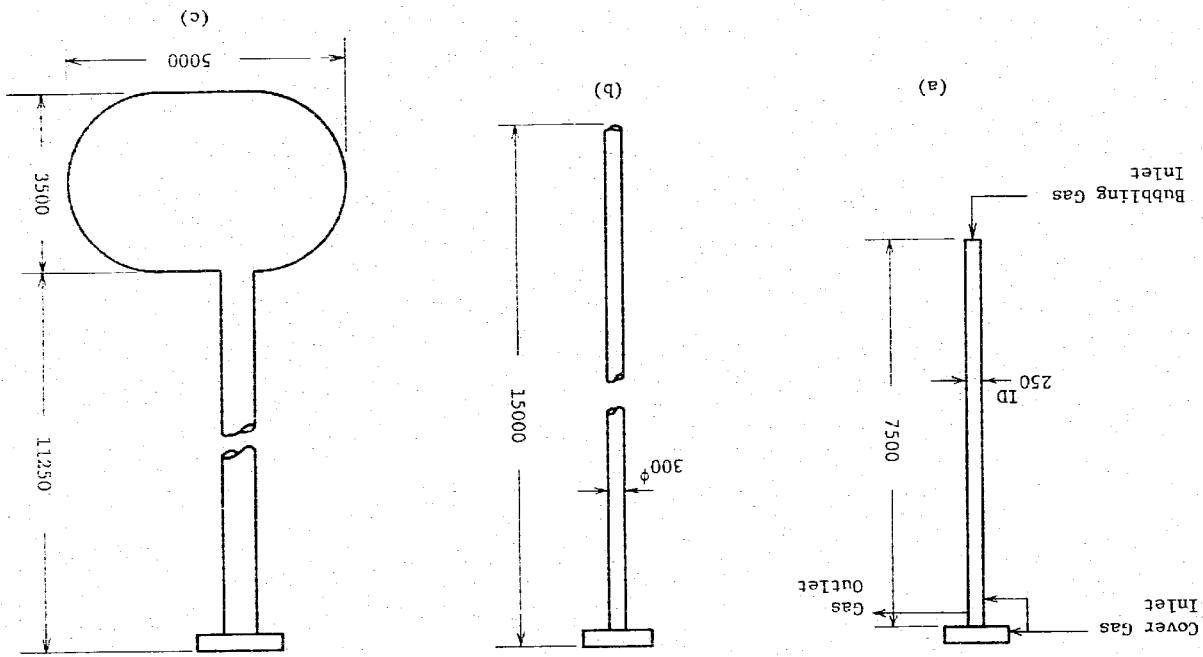
(1) コーロール試験において、よう素を定量するための四塩化炭素抽出法による検量線を作成し、絶
 対量で0.18 ~ 7 mgまでのよう素の定量を可能にした。

なお、定量下限は空試験値の変動などを考慮して0.18 mgとした。

(2) 四塩化炭素抽出法でよう素を定量するとき、変性アルコロールの共存は、よう素の定量を妨害
 することがなかった。変性アルコロールは、よう素の定最操作の前に蒸発乾燥して除去するこ
 とがわかった。

(3) アルコロール中に溶解するよう素の化学形態は、単体よう素またはよう化ナトリウムどちらでも
 よいことがわかった。本文の実験には取扱いの容易なよう化ナトリウムを用いることにした。

Fig. 1 Washing Vessels for JOYO and MONJU Primary System Components
 (a) For JOYO Component
 (b) For MONJU FHM Gripper
 (c) For MONJU Fuel Exchanger



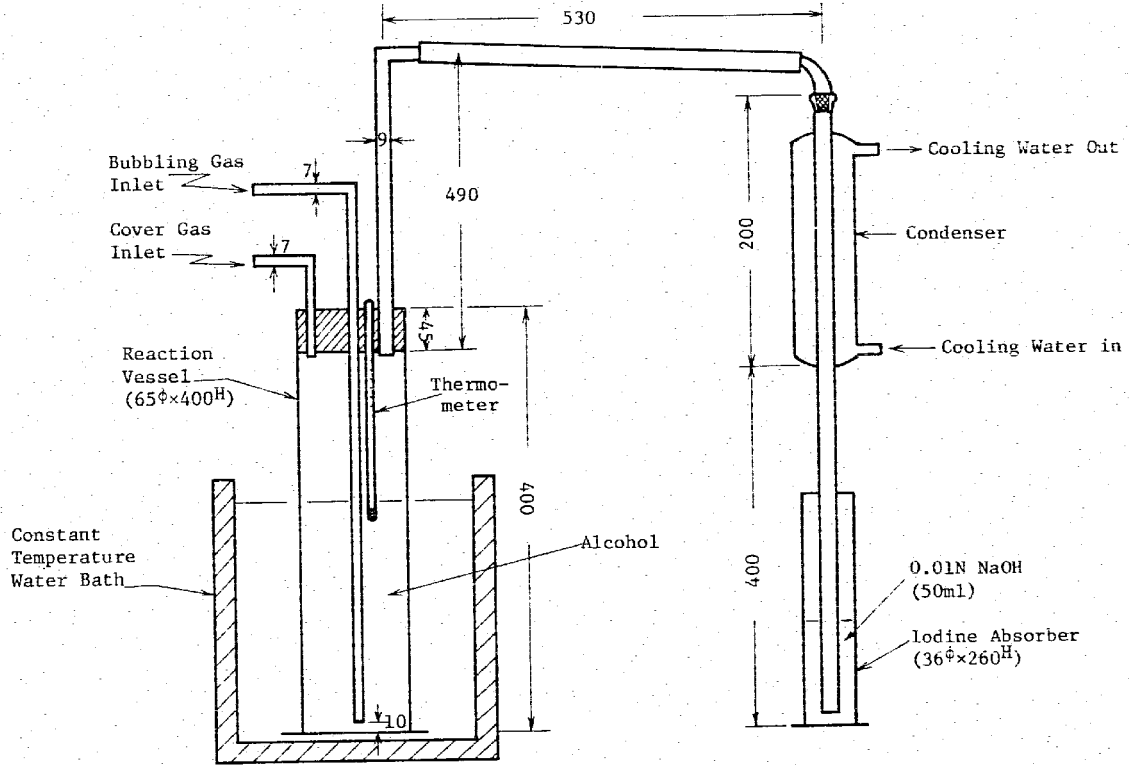


Fig. 2 Iodine Transfer Measuring Apparatus

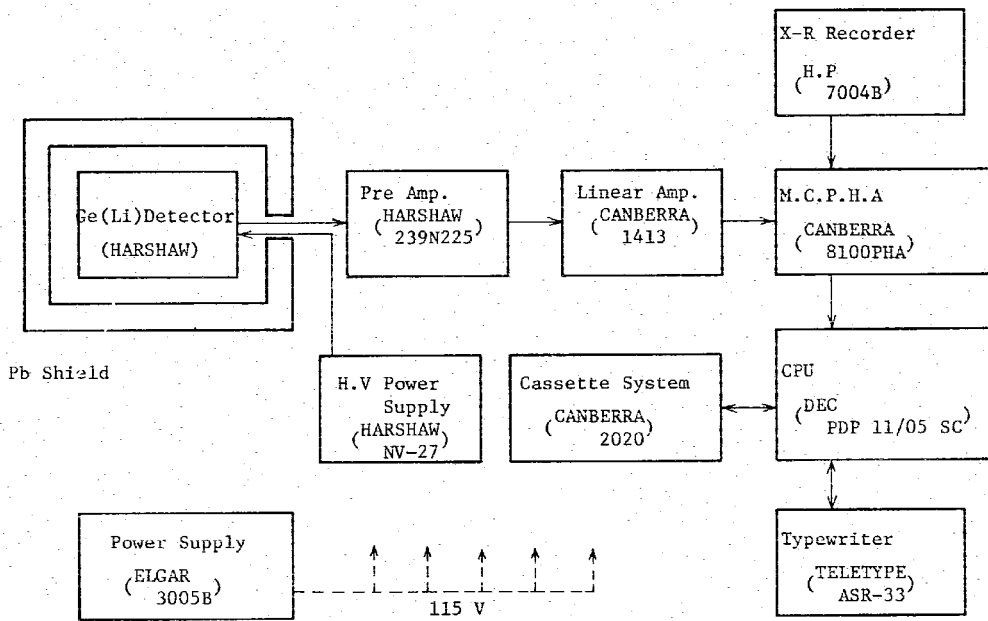


Fig. 3 Block Diagram of Gamma Ray Measuring System

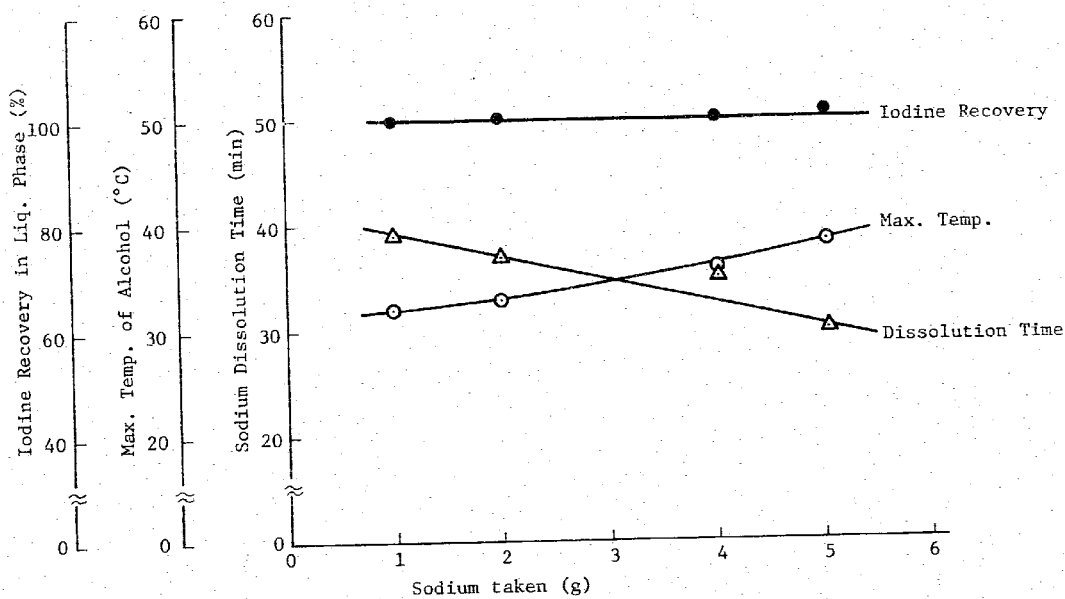


Fig. 4 Dissolution Time and Max. Temp. of Alcohol in Cold Run A
 Iodine added : 100 mg
 Initial Vol. of Alcohol : About 500 ml
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C

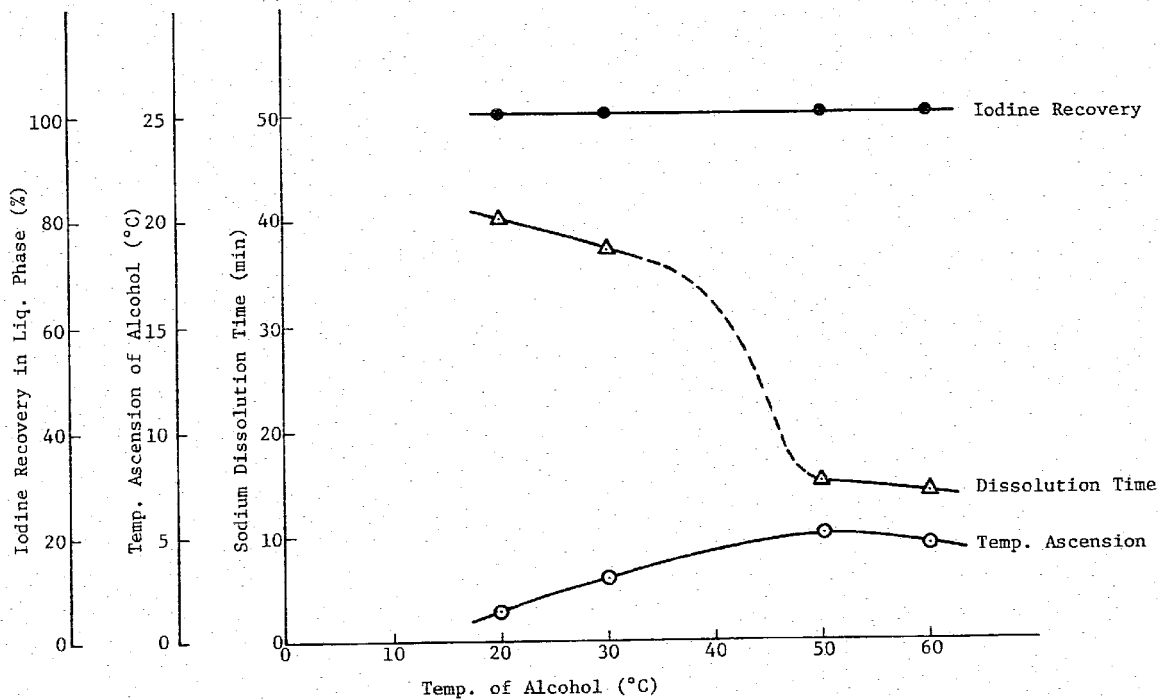


Fig. 5 Dissolution Time and Temp. Ascension of Alcohol in Cold Run B
 Iodine added : 100 mg
 Initial Vol. of Alcohol : About 500 ml
 Sodium added : 2 g

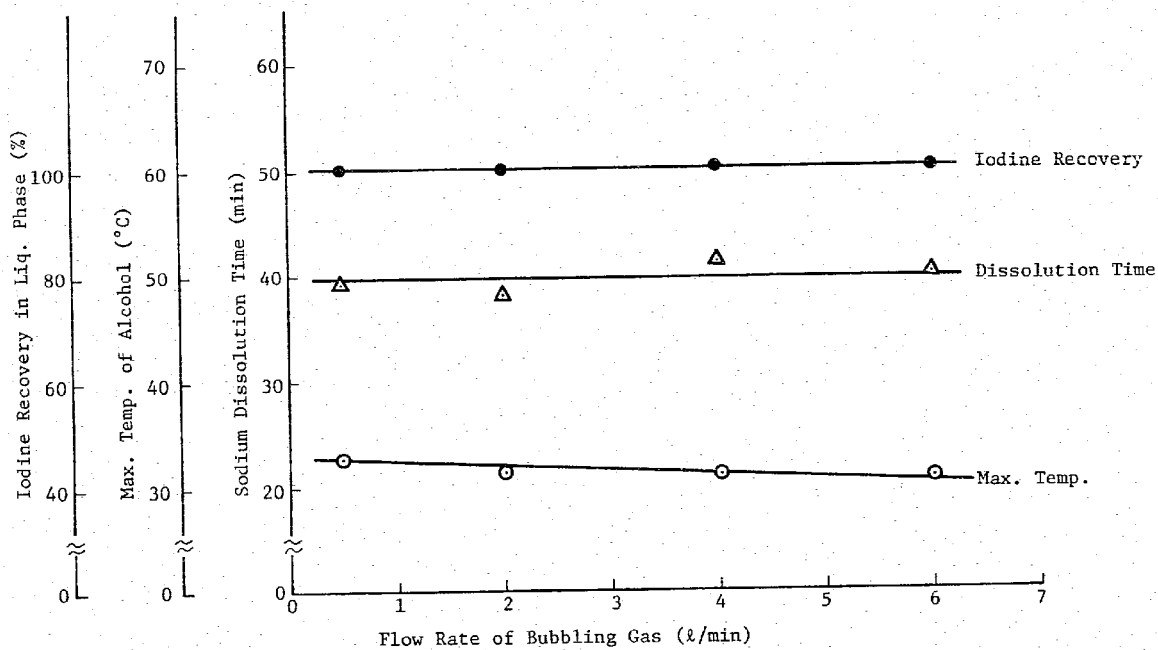


Fig. 6 Dissolution Time and Max. Temp. of Alcohol in Cold Run C

Iodine added : 100 mg
 Initial Vol. of Alcohol : 500 ml
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C
 Sodium added : 2 g
 Gas Flowing Time : 45 min

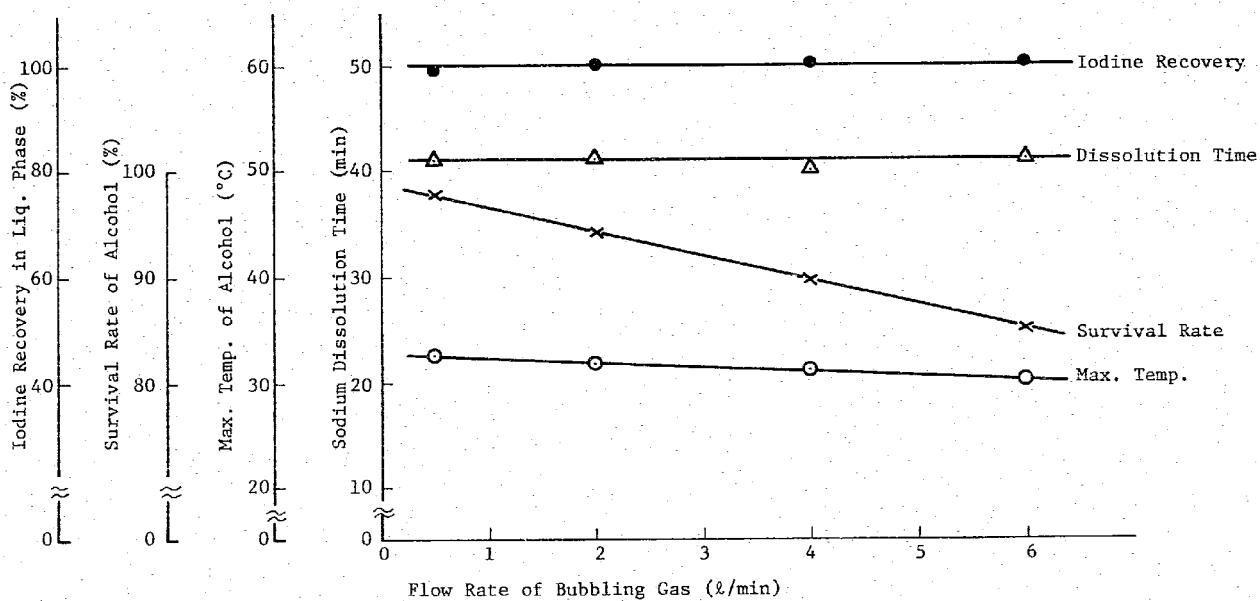


Fig. 7 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Survival Rate of Alcohol in Cold Run D

Iodine added : 100 mg
 Initial Vol. of Alcohol : 500 ml
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C
 Sodium added : 2 g
 Flow Rate of Cover Gas : 1.0 l/min
 Gas Flowing Time : 45 min

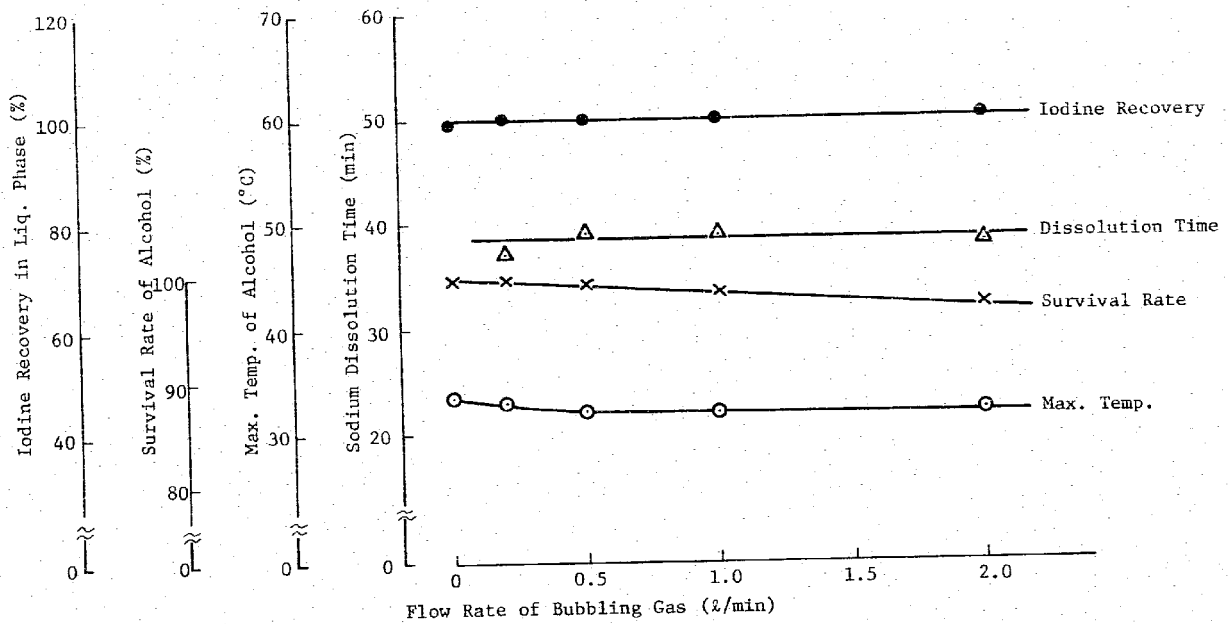


Fig. 8 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Survival Rate of Alcohol in Hot Run E

Iodine added : 1.2 μ Ci Sodium added : 2 g
 Initial Vol. of Alcohol : ~500 ml Gas Flowing Time : 45 min
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C

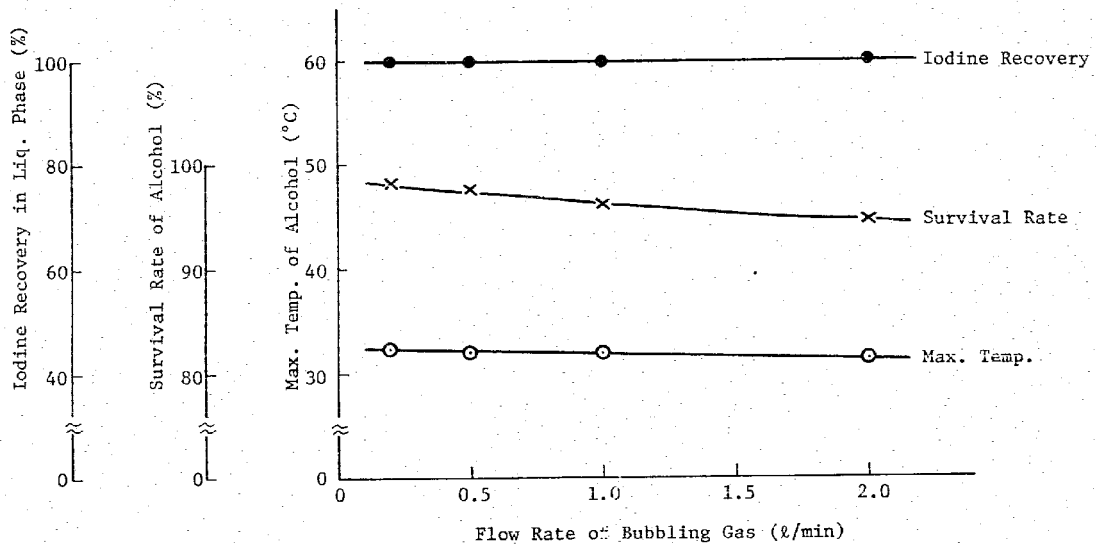


Fig. 9 Max. Temp. of Alcohol and Survival Rate of Alcohol in Hot Run F

Iodine added : 1.2 μ Ci Sodium added : 2 g
 Initial Vol. of Alcohol : ~500 ml Flow Rate of Cover Gas : 1.0 l/min
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C Gas Flowing Time : 45 min

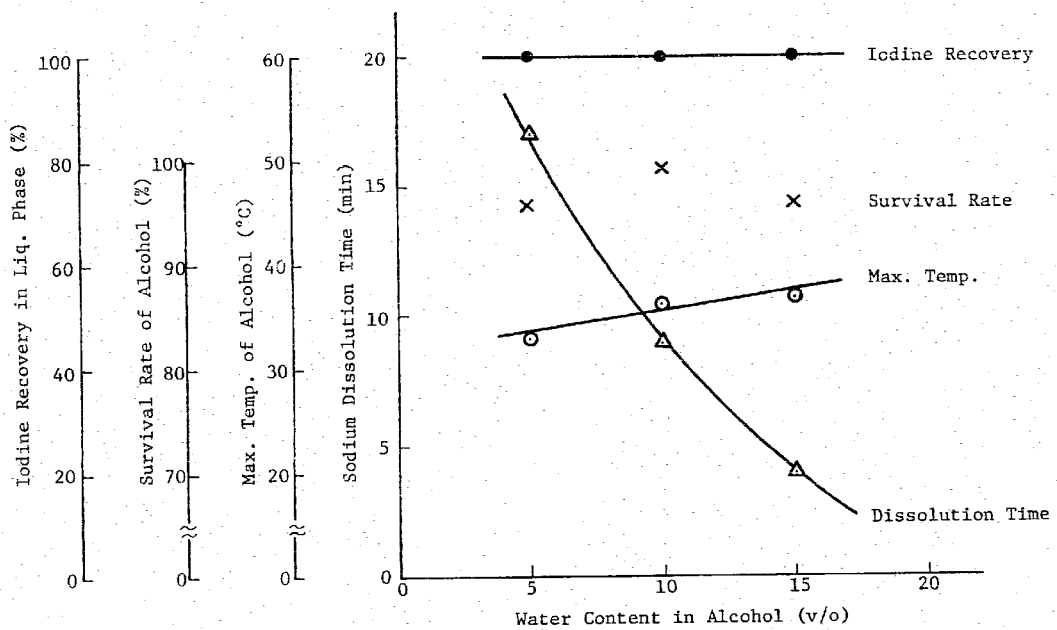


Fig. 10 Dissolution Time, Max. Temp. of Alcohol and Survival Rate of Alcohol in Hot Run G

Iodine added : 1~2 μ Ci Sodium added : 2 g
 Initial Vol. of Alcohol : ~500 ml Flow Rate of Bubbling Gas : 2 l/min
 Initial Temp. of Alcohol : 30 °C Flow Rate of Cover Gas : 1 l/min

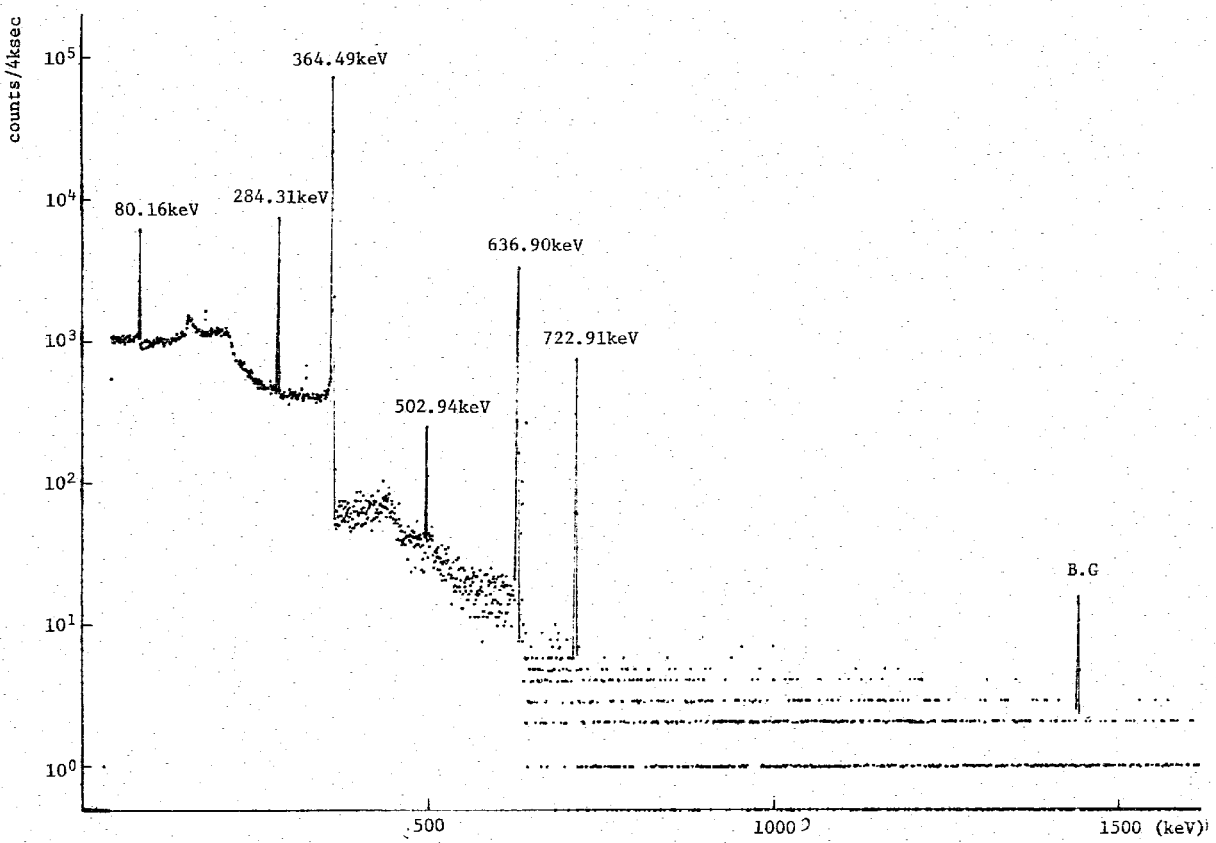


Fig. 11 Gamma Ray Spectrum of I-131 in Alcohol Solution (Hot Run-G3)

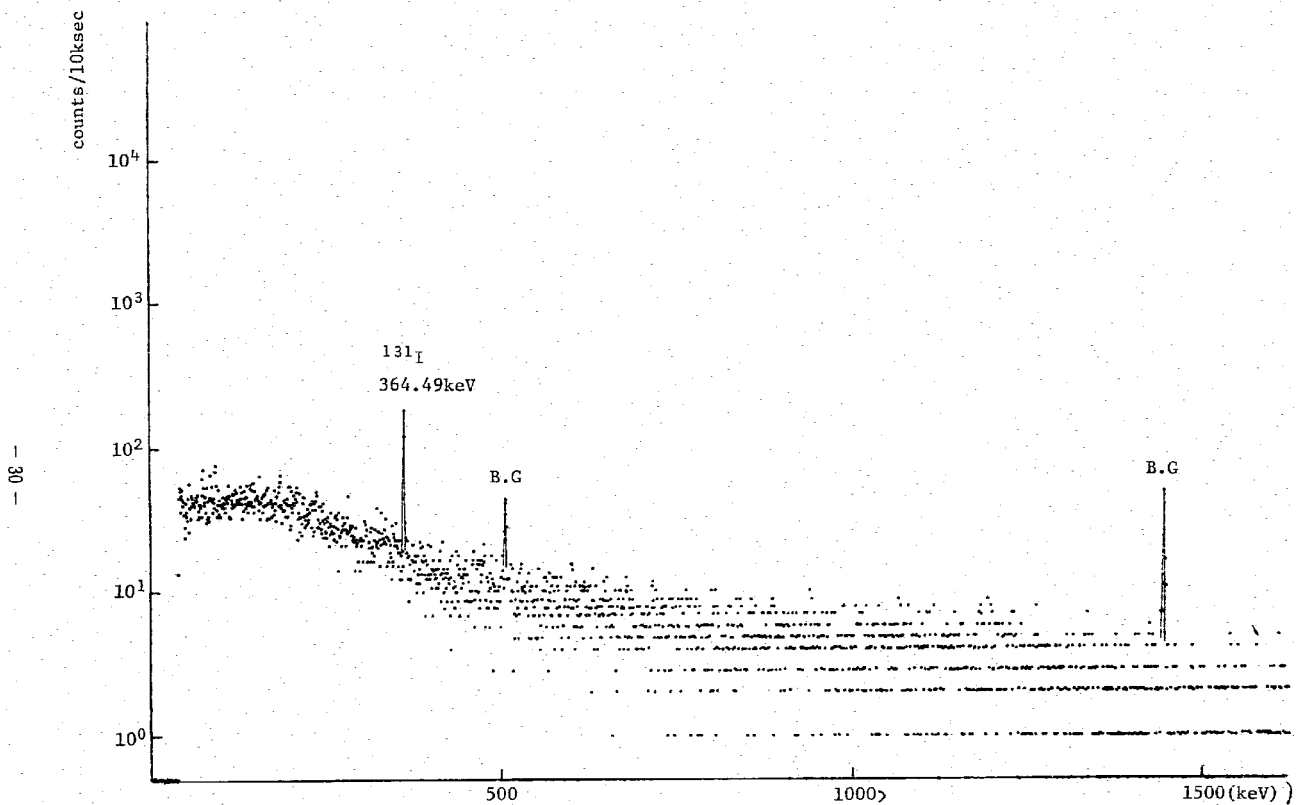


Fig. 12 Gamma Ray Spectrum of I-131 found in Trap Solution (Hot Run-G3)

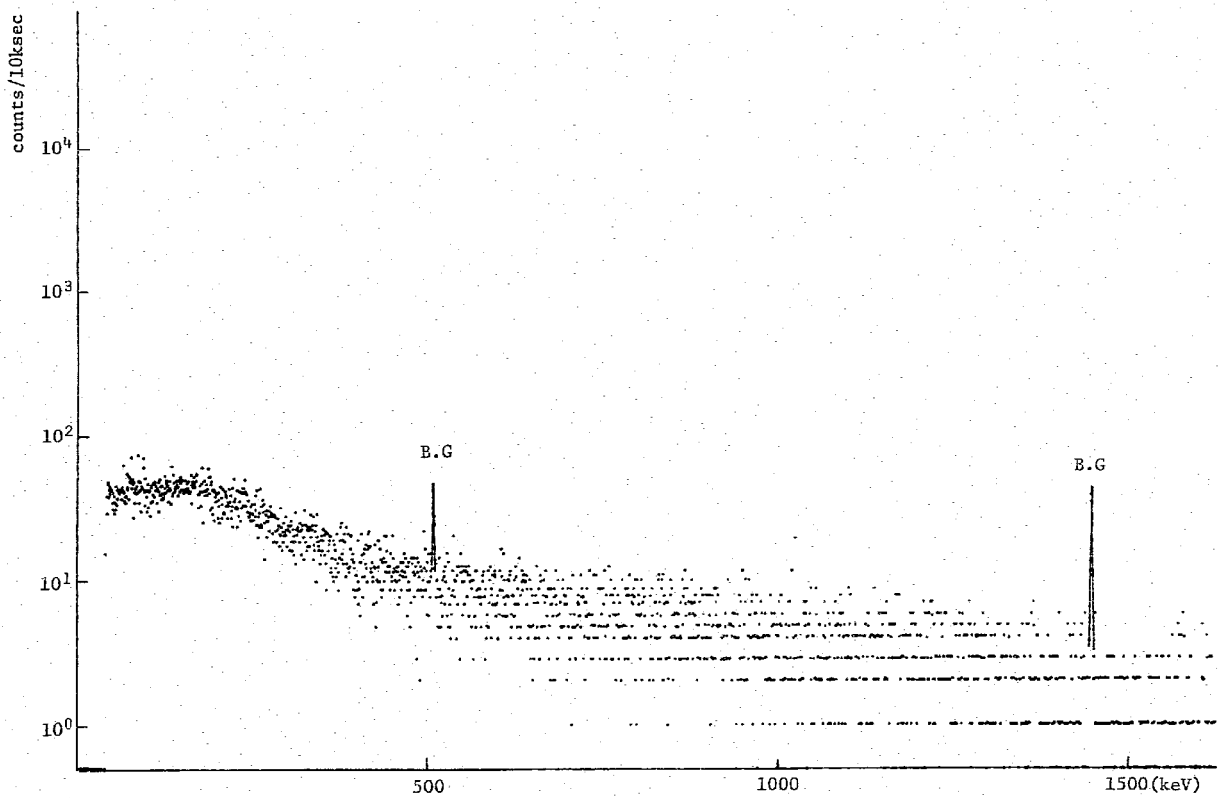


Fig. 13 Gamma Ray Spectrum of Trap Solution (Hot Run-E2)

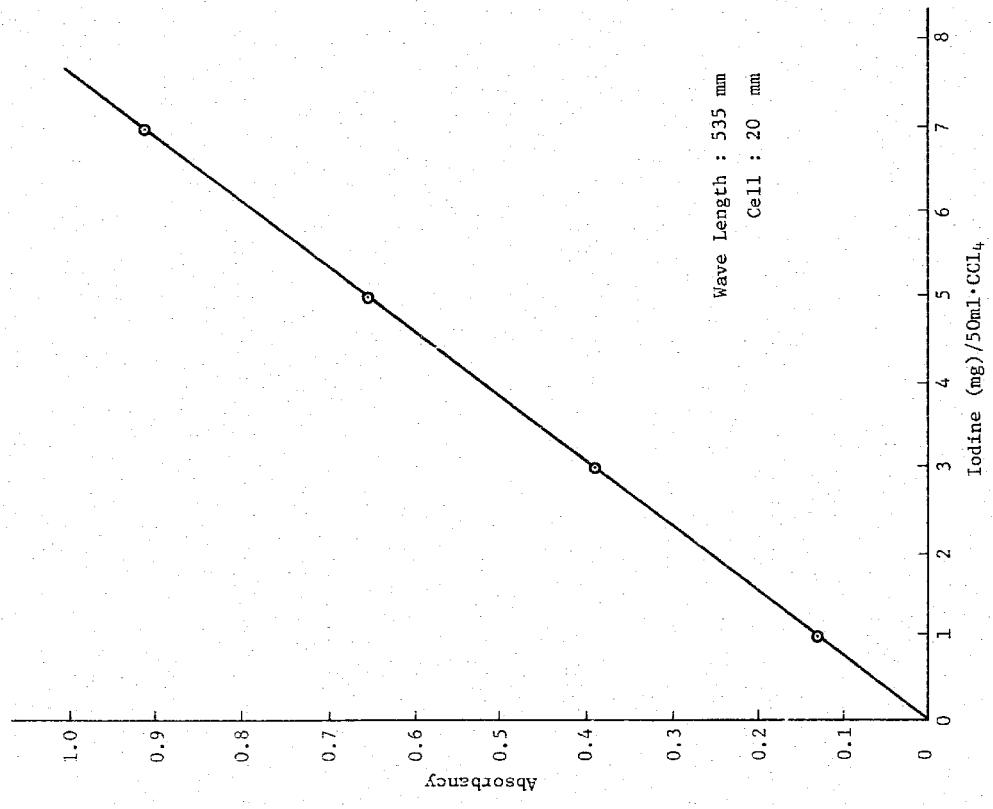


Fig. 14 Calibration Curve of Iodine by CCl₄ Extraction Method

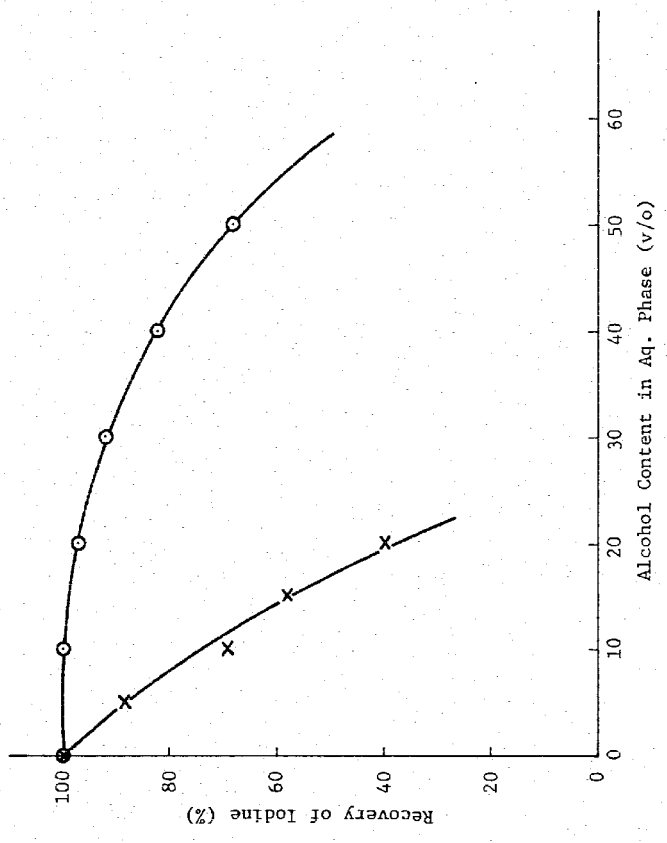


Fig. 15 Effect of Alcohol on Extraction of Iodine

○ : Ethyl Alcohol, × : Denatured Alcohol

Table 1 Design of Sodium Removal System for JOYO and MONJU Primary System Components

	JOYO	MONJU	
		FHM Gripper	Fuel Exchanger
Max. Sodium Wt. to be removed (g)	250	1750	3000
Kind of Alcohol to be used	Ethyl Alcohol	Denatured Alcohol	
Water Content in Alcohol (v/o)	0 ~ 20	0 ~ 20	
Max. Vol. of Alcohol in Vessel (ℓ)	306.7	800	10000
Kind of Flowing Gas	N ₂ (99.99 %)	N ₂ (99.99 %)	
Flow Rate of Cover Gas (Nm ³ /h)	3	36	
Flowing Position of Cover Gas	Upper Part of Vessel		
Pressure of Cover Gas (kg/cm ² G)	0.3	0.5	
Flow Rate of Bubbling Gas (Nm ³ /h)	30	180	
Flowing Position of Bubbling Gas	Bottom of Vessel	Bottom of Vessel	
Operational Pressure (kg/cm ² G)	0 ~ 0.3	0 ~ 0.5	
Operational Temperature (°C)	25	0 ~ 60	
Operational Level of Alcohol in Vessel (Hmm)	0 ~ 6260	0 ~ 12500	
Ascension Speed of Alcohol Level (m/min)	0.35	0.35	
Draining Speed of Alcohol from Vessel (m ³ /h)	0 ~ 2.5	-	
Vol. of Cover Gas in Vessel (ℓ)	400 ~ 100.9	200	800
Cask to be connected			
(i) Kind of Cover Blowdown Gas	N ₂ (99.99 %)	N ₂ (99.99 %)	
(ii) Vol. of " " (Nm ³ /h)	~ 1	~ 1	
Wast Gas Vol. from Vessel			
(i) in Bubbling Process (m ³ /h)	34	216	
(ii) in Sodium Removing Process (Containing H ₂ Gas) (m ³ /h max.)	4.8	-	

- 34 -

PNC TN941 78-94

Table 2 MONJU Sodium Removal System Parameter and Experimental Parameter

Parameter	MONJU Sodium Removal System Parameter to be Used				Experimental Parameter Selected
	FHM Gripper	Fuel Exchanger	Parameters Corresponding to 0.5ℓ of Alcohol		
			FHM Gripper	Fuel Exchanger	
Vol. of Alcohol to be used (ℓ)	800	10000	0.5	0.5	0.5
Flow Rate of Cover Gas (ℓ/min)	36 × 10 ²	36 × 10 ²	0.375	0.03	0 ~ 1.0
Flow Rate of Bubbling Gas (ℓ/min)	3 × 10 ³	3 × 10 ³	1.88	0.15	0.2 ~ 6.0
Sodium Wt. to be removed (g)	1750	3000	1.1	0.15	2 ~ 5
Temp. of Alcohol (°C)	0 ~ 60	0 ~ 60	-	-	20 ~ 60
H ₂ O Content in Alcohol (v/o)	0 ~ 20	0 ~ 20	-	-	0 ~ 20

- 35 -

PNC TN941 78-94

Table 4. Composition of Iodine 131 Standard Solution (made in France)

Date Estimated : Jan, 23/1978
 Activity : 314.5 $\mu\text{Ci}\cdot\text{g}^{-1}$ ($1164 \times 10^7 \text{ Bq}\cdot\text{g}^{-1}$)
 Volume : 5 ml \pm 0.2 %
 Sp. Gr. at 20°C : 0.998
 Chemical Composition : 50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{NaI} + 50\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ in H_2O

Table 5 Composition of Denatured Alcohol

Ethyl Alcohol : 93.4 w/o
 Methyl Ethyl Ketone : 2.0 "
 Sucrose Octa-Acetate : 0.1 "
 Isopropyl Alcohol : 4.5 "
 Code Name : Ekinen-F1
 Maker : Nippon Kaselhin KK

Table 3 Design of Experiments

Run No.	Vol. of Alcohol (ml)	Amounts of Iodine (mg)	Amounts of Iodine (μCi)	Sodium Wt. (g)	Temp. of Alcohol ($^{\circ}\text{C}$)	Flow Rate of Bubbling Gas (ℓ/min)	Flow Rate of Cover Gas (ℓ/min)	Remark
A-1	500	100	-	1	30	-	-	Cold Run
B-1	"	"	"	2	20	"	"	"
B-1	"	"	"	5	"	"	"	"
B-1	"	"	"	4	"	"	"	"
B-1	"	"	"	2	"	"	"	"
C-1	"	"	"	"	30	0.5	"	"
C-1	"	"	"	"	30	"	"	"
C-1	"	"	"	"	30	"	"	"
D-1	"	"	"	"	"	0.5	1.0	"
D-1	"	"	"	"	"	2	1.0	"
D-1	"	"	"	"	"	4	1.0	"
D-1	"	"	"	"	"	6	1.0	"
E-1	"	"	"	"	"	0.2	1.0	Hot Run
E-1	"	"	"	"	"	0.5	1.0	"
E-1	"	"	"	"	"	1	1.0	"
E-1	"	"	"	"	"	2	1.0	"
F-1	"	"	"	"	"	0.2	1.0	"
F-1	"	"	"	"	"	0.5	1.0	"
F-1	"	"	"	"	"	1.0	1.0	"
G-1	"	"	"	"	"	2.0	1.0	"
G-1	"	"	"	"	"	4	1.0	"
G-1	"	"	"	"	"	6	1.0	"
G-1	"	"	"	"	"	10	1.0	"

Table 6 Determination of Iodine Transfer Rate to Liquid Phase and Gas Phase in the Cold Run

Run No.	I ¹²⁷ added (mg)	Na added (g)	ROH* Temp. (°C)	Bubbling Gas** (l/min)	Cover Gas** (l/min)	Initial Vol. of ROH (ml)	Dissolution Time of Na (min)	Time of Gas Flow (min)	Final Vol. of ROH (ml)	I ¹²⁷ found (mg)		Transfer Rate	
										in ROH	in Trap	Liq. Phase	Gas Phase
A-1	100	1.01	30	-	-	503	39	-	503	99.6	<0.18	0.996	<0.18×10 ⁻²
-2	"	2.03	"	-	-	506	37	-	506	99.8	"	0.998	"
-3	"	4.03	"	-	-	505	35	-	504	101	"	1.0	"
-4	"	5.05	"	-	-	505	30	-	504	102	"	1.0	"
B-1	100	2.02	20	-	-	504	40	-	504	99.8	"	0.998	"
-2	"	2.03	30	-	-	506	37	-	506	100	"	1.0	"
-3	"	2.02	50	-	-	509	15	-	509	"	"	"	"
-4	"	2.02	60	-	-	500	14	-	500	"	"	"	"
C-1	100	2.04	30	0.5	-	505	39	45	500	100	"	1.0	"
-2	"	2.01	"	2.0	-	500	38	"	479	99.9	"	0.999	"
-3	"	2.03	"	4.0	-	500	41	"	470	101	"	1.0	"
-4	"	2.02	"	6.0	-	500	40	"	432	100	"	1.0	"
D-1	100	2.00	30	0.5	1.0	505	41	45	493	99.3	"	0.993	"
-2	"	1.99	"	2.0	"	505	41	"	475	100	"	1.0	"
-3	"	2.03	"	4.0	"	506	40	"	453	101	"	1.0	"
-4	"	2.03	"	6.0	"	506	41	"	430	101	"	1.0	"

* Denatured Alcohol (F-1)

** Argon Gas

Table 7 Determination of Iodine-131 Transfer Rate to Liq. Phase and Gas Phase in the Hot Run

Run No.	¹³¹ I added (μCi)	Na added (g)	ROH* Temp. (°C)	Bubbling Gas** (l/min)	Cover Gas** (l/min)	Initial Vol. of ROH (ml)	Dissolution Time of Na (min)	Time of Gas Flow (min)	Final Vol. of ROH (ml)	¹³¹ I found (μCi)		Transfer Rate	
										in ROH	in Trap	Liq. Phase	Gas Phase
E-1	1.735	2.04	30	-	-	509	-	45	506	1.72	<4.38×10 ⁻⁶	0.991	<2.52×10 ⁻⁶
-2	1.447	2.04	"	0.2	-	506	37	"	504	1.45	<4.71× "	1.0	<3.26× "
-3	1.229	2.00	"	0.5	-	504	39	"	500	1.24	<4.85× "	1.0	<3.94× "
-4	0.876	2.02	"	1.0	-	503	39	"	494	0.878	<4.87× "	1.0	<5.56× "
-5	0.836	2.01	"	2.0	-	504	38	"	489	0.844	<4.88× "	1.0	<5.84× "
F-1	2.000	2.03	30	0.2	1.0	495		45	485	2.00	2.97×10 ⁻⁵	1.0	1.49×10 ⁻⁵
-2	1.384	2.01	"	0.5	"	503		"	490	1.38	<6.75×10 ⁻⁶	0.994	<4.88×10 ⁻⁶
-3	1.398	2.00	"	1.0	"	505		"	485	1.40	4.09×10 ⁻⁵	1.0	2.93×10 ⁻⁵
-4	1.270	2.01	"	2.0	"	506		"	477	1.27	4.04×10 ⁻⁵	1.0	3.18×10 ⁻⁵
G-1	1.127	2.00	30	2.0	1.0	505 ^{a)}	17	45	482	1.13	3.29×10 ⁻⁵	1.0	2.92×10 ⁻⁵
-2	1.109	"	"	"	"	505 ^{b)}	9	9	500	1.11	<5.09×10 ⁻⁶	1.0	<4.59×10 ⁻⁶
-3	1.563	2.01	"	"	"	500 ^{c)}	4	45	479	1.56	6.30×10 ⁻⁵	1.0	4.03×10 ⁻⁵

* Denatured Alcohol (F-1)

** Argon Gas

(a) 5 v/o Water in Alcohol

(b) 10 v/o Water in Alcohol

(c) 15 v/o Water in Alcohol

Table 3 Determination of Iodine Retention Rate in Liq. Phase in the Use of Different Chemical Form of Iodine

Run No.	Before Sodium Dissolution			Sodium added (g)	After Sodium Dissolution		Iodine Retention Rate in Liq. Phase (%)
	Volume of ROH* (ml)	Chemical Form of Iodine added	Amounts of I added (mg)		Volume of ROH* (ml)	Iodine found in Liq. Phase (mg)	
P-1	491	NaI	44.8	1.0	490	44.7	99.8
-2	489	"	44.1	"	"	44.3	100
P-3	489	I ₂	48.8	"	480	47.9	98.2
-4	489	"	49.3	"	"	49.9	101

* Denatured Alcohol (F-1)